



Közzététel: 2023. november 22.

A tanulmány címe:

Országok digitális fejlettségének megállapítása lépcsőzetes DEA, lépcsőzetes Pareto-hatékonyság és klaszteranalízis felhasználásával, a 2020-as nemzetközi digitális gazdasági és társadalmi index adatai alapján

Szerzők:

BÁNHIDI ZOLTÁN

a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közgazdaságtan Tanszékének tudományos segédmunkatársa

E-mail: banhidi.zoltan@gtk.bme.hu

DOBOS IMRE

a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közgazdaságtan Tanszékének egyetemi tanára

E-mail: dobos.imre@gtk.bme.hu

DOI: <https://doi.org/10.20311/stat2023.11.hu0978>

Az alábbi feltételek érvényesek minden, a Központi Statisztikai Hivatal (a továbbiakban: KSH) Statisztikai Szemle c. folyóiratában (a továbbiakban: Folyóirat) megjelenő tanulmányra. Felhasználó a tanulmány vagy annak részei felhasználásával egyidejűleg tudomásul veszi a jelen dokumentumban foglalt felhasználási feltételeket, és azokat magára nézve kötelezőnek fogadja el. Tudomásul veszi, hogy a jelen feltételek megszegéséből eredő valamennyi kárért felelősséggel tartozik.

1. A jogszabályi tartalom kivételével a tanulmányok a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény (Szjt.) szerint szerzői műnek minősülnek. A szerzői jog jogosultja a KSH.
2. A KSH földrajzi és időbeli korlátozás nélküli, nem kizárólagos, nem átadható, térítésmentes felhasználási jogot biztosít a Felhasználó részére a tanulmány vonatkozásában.
3. A felhasználási jog keretében a Felhasználó jogosult a tanulmány:
 - a) oktatási és kutatási célú felhasználására (nyilvánosságra hozatalára és továbbítására a 4. pontban foglalt kivétellel) a Folyóirat és a szerző(k) feltüntetésével;
 - b) tartalmáról összefoglaló készítésére az írott és az elektronikus médiában a Folyóirat és a szerző(k) feltüntetésével;
 - c) részletének idézésére – az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven – a forrás, valamint az ott megjelölt szerző(k) megnevezésével.
4. A Felhasználó nem jogosult a tanulmány továbbértékesítésére, haszonszerzési célú felhasználására. Ez a korlátozás nem érinti a tanulmány felhasználásával előállított, de az Szjt. szerint önálló szerzői műnek minősülő mű ilyen célú felhasználását.
5. A tanulmány átdolgozása, újra publikálása tilos.
6. A 3. a)–c) pontban foglaltak alapján a Folyóiratot és a szerző(ke)t az alábbiak szerint kell feltüntetni:
„*Forrás: Statisztikai Szemle c. folyóirat 101. évfolyam 11. számában megjelent, **Bánhidi Zoltán–Dobos Imre** által írt, **Országok digitális fejlettségének megállapítása lépcsőzetes DEA, lépcsőzetes Pareto-hatékonyság és klaszteranalízis felhasználásával, a 2020-as nemzetközi digitális gazdasági és társadalmi index adatai alapján** című tanulmány (link csatolása)*”
7. A Folyóiratban megjelenő tanulmányok kutatói véleményeket tükröznek, amelyek nem feltétlenül esnek egybe a KSH vagy a szerzők által képviselt intézmények hivatalos álláspontjával.

Bánhidi Zoltán – Dobos Imre

Országok digitális fejlettségének megállapítása lépcsőzetes DEA, lépcsőzetes Pareto-hatékonyság és klaszteranalízis felhasználásával, a 2020-as nemzetközi digitális gazdasági és társadalmi index adatai alapján

Digital development of countries using tiered DEA, tiered Pareto efficiency and Cluster Analysis with data from the 2020 International DESI

Bánhidi Zoltán, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közgazdaságtan Tanszékének tudományos segédmunkatársa

E-mail: banhidi.zoltan@gtk.bme.hu

Dobos Imre, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közgazdaságtan Tanszékének egyetemi tanára

E-mail: dobos.imre@gtk.bme.hu

Tanulmányunkban a nemzetközi digitális gazdasági és társadalmi index (I-DESI) 2020. évi kiadásának 5 fő dimenzióját használjuk fel a digitális fejlettség mérésére, azonban az Európai Bizottság szubjektív scoringmodellje helyett a döntéelmélet és a többváltozós statisztika objektív módszereit alkalmazzuk az adatbázisban szereplő országok csoportosításához, amit a *Tiered Data Envelopment Analysis* (lépcsőzetes burkológörbe-elemzés, TDEA) módszerével, a lépcsőzetes Pareto-hatékonysági megközelítéssel (Hasse-diagramon keresztül), valamint a k-közép klaszterezési algoritmussal végzünk el. E három módszer eredményeit ezután a Spearman-féle ρ és a Kendall-féle tau-b korrelációs együtthatók segítségével hasonlítjuk össze. A TDEA és a Hasse-módszer nagyon hasonló, közel azonos országcsoportokat eredményez, de a harmadik módszerünkkel kapott klaszterek sem különböznek ezektől túlságosan. Magyarország pozíciója a k-közép klaszterezés szerint a legjobb, a középmezőnybe helyezi hazánkat, a többi módszer viszont a mezőny alsó felébe, hasonlóan a V4 többi országához.

Tárgyszavak: nemzetközi digitális gazdasági és társadalmi index (I-DESI), TDEA, Pareto-hatékonyság

In this study, we use the five principal dimensions of the 2020 International Digital Economy and Society Index (I-DESI) to measure digital development, but instead of using the European Commission's subjective scoring model to rank countries, we apply objective grouping methods from decision theory and multivariate statistics. The grouping is done using the Tiered Data Envelopment Analysis (TDEA) approach, the stepwise Pareto efficiency approach (via the Hasse diagram)

and finally the k-means clustering algorithm. The results of these three methods are then evaluated using Spearman's rho and Kendall's tau-b correlation coefficients. The TDEA and Hasse methods produce essentially identical results, but the clusters are not too dissimilar either. Hungary's position is best according to the k-means clustering, which places it in the middle of the pack, but the other methods place it in the bottom half, along with other members of the V4 group.

Keywords: international digital economy and society index (I-DESI), TDEA, Pareto efficiency

A nemzetközi digitális gazdasági és társadalmi index (*International Digital Economy and Society Index*, I-DESI) egy mutatórendszer, egyben tanulmány, amelyet az Európai Bizottság megbízásából független szakértők két évente készítenek el, első kiadását 2016-ban tették közzé, az eddigi utolsó 2020-ban jelent meg. Az I-DESI összetett mutató célja, hogy átfogó értékelést nyújtson az Európai Unió digitális társadalom és gazdaság felé tett előrehaladásáról az EU-n kívüli kiválasztott (általában fejlett) országokhoz képest. A módszertan szempontjából meghatározó alapelv, hogy a mutatórendszer az Európai Bizottság eredeti (csak az EU-tagországokra számított), a digitális gazdaság és társadalom fejlettségét mérő DESI (*Digital Economy and Society Index*) mutatójának eredményeit tükrözze, illetve azt földrajzi szempontból bővítse olyan helyettesítő mutatók felhasználásával, amelyek az unión kívüli országok esetében is rendelkezésre állnak.

A DESI és az I-DESI egyaránt olyan mutatórendszer, amely több egyedi indikátort előre definiált súlyokkal kombinál, és hasonló (de nem teljesen azonos) pontozási rendszereket (*scoring modell*) használ arra, hogy az egyes országokat a digitális teljesítményük alapján értékelje és rangsorolja a digitális gazdaság és a társadalom fejlődésének nyomon követése céljából. Jelen tanulmányunk célja viszont nem a rangsorolás, azzal egy korábbi cikk foglalkozott (*Bánhidí–Dobos, 2023b*), hanem objektív döntésméleti, illetve többváltozós statisztikai módszerek (lépcsőzetes DEA {TDEA} és Pareto-hatékonyság, k-közép klaszterezés) alapján a digitális fejlettséget tekintve viszonylag homogén országcsoportok képzése, és Magyarország, illetve a Visegrádi Együttműködés országai (V4: Magyarország, Lengyelország, Csehország, Szlovákia) helyzetének vizsgálata. Szintén nem célunk az adatbázis változóinak többváltozós statisztikai elemzési módszerek alapján történő analízise, ilyen elemzést *Tarjáni és munkatársai (2022)* mutattak be a *Statisztikai Szemle* hasábjain.

Az I-DESI 2020-as változata a digitalizáció terén elért teljesítményt 45 országban (27 EU-tag, 18 nem uniós), 5 fő szakpolitikai területen (dimenzióban) mérte fel (1. táblázat), ezek az összekapcsoltság (internet-hozzáférés), a humán

tőke, az internet polgárok általi használata, a digitális technológia integráltsága és a digitális közszolgáltatások. Tanulmányunkban e fő dimenziók 2018. évre számított adatait vettük alapul az országok besorolásához a TDEA és a Pareto-hatékonyság, valamint a k-közép klaszterezés módszereivel képzett csoportokba (lásd a Függelék F1. táblázatát). Vizsgálni kívántuk azt is, hogy a V4 tagjai a digitális fejlettséget tekintve hová sorolhatók be az Európai Unió tagállamaiból és ezek legfőbb versenytársaiból képzett országcsoportok közül. Tanulmányunk 2. fejezetében rövid áttekintést adunk a DESI és a I-DESI mutatórendszerekhez kapcsolódó szakirodalomról. Az ezt követő fejezetekben az általunk használt modellek módszertanát, a TDEA-t, a Pareto-hatékonysági eljárást, illetve a k-közép klaszterezés módszerét, valamint az ezek felhasználásával kapott eredményeinket mutatjuk be. Végül a fő következtetéseinket bemutató fejezettel zárjuk cikkünket.

1. táblázat

Az I-DESI 2020 dimenziói, az egyes dimenziók értelmezése
Dimensions of the I-DESI 2020, explanation of each dimension

| Dimenzió | Az adott dimenzió szakpolitikai értelmezése | Az EU által javasolt súlyozás |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Összekapcsoltság (internet-hozzáférés) | Szélessávú hálózati infrastruktúra rendelkezésre állása és minősége | 0,25 |
| Humán tőke | A digitális társadalom által kínált lehetőségek igénybevételéhez szükséges digitális készségek rendelkezésre állása | 0,25 |
| Internetes szolgáltatások használata | Az internetes szolgáltatások igénybevétele a polgárok (fogyasztók) által | 0,15 |
| A digitális technológiák integráltsága | A vállalkozások digitalizálása és az online értékesítési csatornák | 0,2 |
| Digitális közszolgáltatások | A közszolgáltatások digitalizáltsága, az e-kormányzati szolgáltatásokra fókuszálva | 0,15 |

Forrás: *Európai Bizottság (2021)*.

1. Rövid szakirodalmi áttekintés a I-DESI-ről és az alkalmazott módszerekről

A digitális átalakulás és fejlődés leírására a tudományos szakirodalomban és a nemzetközi szervezetek közleményeiben számos különböző mutatórendszert alkalmaznak. Tanulmányunk azonban csak a DESI-hez és a I-DESI-hez kapcsolt

lódó, friss (2020 utáni) szakirodalomra koncentrálnak, ezeket mutatjuk be a fejezet első részében. A második részben az általunk alkalmazott módszerekhez, azaz a lépcsőzetes DEA-hoz és a lépcsőzetes Pareto-hatékonysághoz kapcsolódó munkákat ismertetjük. A k-közép klaszterezés viszonylag jól ismert és széles körben alkalmazott többváltozós statisztikai módszer, ezért erre jelen fejezetünkben nem térünk ki.

Bánhidi és munkatársai (2020) a DESI 5 fő dimenzióját elemezték többváltozós statisztikai módszerekkel. Először a dimenziók közötti lineáris kapcsolatokat vizsgálták egyszerű Pearson- és parciális korrelációelemzéssel, valamint faktoranalízissel, elsősorban a lehetséges oksági összefüggésekre összpontosítva. Elemzésük alátámasztja az Európai Bizottság azon tézisét, miszerint a DESI 5 fő dimenziója szorosan összefügg egymással, és csak koherens és összehangolt stratégiával fejleszthetők hatékonyan. Ezt követően az uniós tagállamokat klaszterelemzéssel és többdimenziós skálázással (*Multidimensional Scaling*, MDS) csoportosították, majd többváltozós statisztikai módszerekkel rangsorolták, és az így kapott rangsorokat összehasonlították az Európai Bizottság eredeti pontozási modellje alapján készült országsorrenddel, rámutatva, hogy e különböző módszerek viszonylag hasonló eredményre vezetnek.

Olczyk és Kuc-Czarnecka (2022) vizsgálatának fókuszában ugyancsak a DESI dimenziói, az index módszertani megfelelése álltak, de emellett vizsgálták az index gazdasági fejlettséggel való kapcsolatát is. Elemzésük eredményei szerint a DESI 5 fő dimenziójából 2 (az internetes szolgáltatások használata és a digitális közszolgáltatások), az összesen 37 indikátor közel fele (18) is elhagyható anélkül, hogy ez az index alapján képzett országsorrendet lényegesen módosítaná. A redundáns változók, dimenziók elhagyása mellett a szerzők javaslatot tettek a DESI szubjektív súlyainak optimalizálására is, a gazdasági fejlettséggel való kapcsolatot tekintve pedig megállapították, hogy az egy főre jutó GDP-t mind az eredeti, mind a módosított index jelentős mértékben képes magyarázni, a digitális fejlettség különösen a szegényebb országok esetén fontos növekedésösztönző tényező.

Laitsou és munkatársai (2020) szintén a DESI-t és annak 5 fő dimenzióját használták a görög gazdaság digitális teljesítményének meghatározására, illetve Gompertz-modell segítségével készítettek előrejelzést arról, hogy Görögország miként közelíthet az EU vezető országaihoz a digitális fejlettség tekintetében. Értékelésük szerint, bár az országnak számos kihívással kell szembenéznie a digitalizáció keresleti és kínálati oldalán egyaránt, a megfelelő kormányzati politikákkal Görögország már 2030-ra felzárkózhat az uniós átlaghoz.

Kovács és munkatársai (2022) a DESI adatainak időbeli alakulása alapján azt vizsgálták, hogy a digitális fejlettséget tekintve kimutatható-e felzárkózás az uniós országok között. Eredményeik szerint az EU-tagállamok között a digitális

fejlettségi különbségek a 2016 és 2021 közötti vizsgálati időszakban csökkentek (szigma-konvergencia), illetve a kezdeti fejlettségi szint és a növekedési ráta között szignifikáns negatív korreláció mutatható ki (béta-konvergencia).

Tarjáni és munkatársai (2022) többváltozós statisztikai elemzést végeztek az I-DESI adatain. Az EU-tagállamok és az unión kívüli országok adatainak szétválaszthatóságát diszkriminanciaanalízissel vizsgálták, a dimenziók értékeinek átlagát pedig varianciaanalízissel hasonlították össze. A fő dimenziók közötti korrelációt Pearson-féle és parciális korrelációs együtthatók alapján elemezték, az összefüggéseket oksági láncon keresztül mutatták be. Főkomponens-elemzés segítségével az 5 dimenziót 2 főkomponensre redukálták, és az előző évi adatokhoz viszonyítva értelmezték. A kiugró adatokat a Mahalanobis-távolságokkal értékelték. Eredményeik ugyancsak alátámasztják az Európai Bizottság álláspontját a digitális gazdaság vizsgált dimenzióinak szoros összefüggéséről, valamint azt, hogy a digitális fejlettséget tekintve nincs jelentős különbség az EU-tagállamok és az adatbázisban szereplő, unión kívüli országok között.

Tokmergenova és munkatársai (2021) elemzése a dimenziók közötti multikollinearitásra és a dimenziók közötti statisztikai kapcsolatokra összpontosított, a DESI nemzetközi kiterjesztésének tekinthető I-DESI adatainak felhasználásával. Eredményeik erős multikollinearitást, redundanciát mutatnak a dimenziók között.

Bánhidi és munkatársai (2021) kutatási kérdései az I-DESI rangsoron belül főként Oroszország EU-tagországokhoz viszonyított helyzetére, teljesítményére vonatkoztak. A DEA/CI-modellre épülő eredményeik azt mutatják, hogy Oroszország az Európai Unió keleti és déli tagállamaihoz képest jelentős előrehaladást ért el a digitális gazdasági és társadalmi fejlődésben, különösen a humán tőke dimenziójában mutatott jó teljesítményének köszönhetően.

A digitális fejlettséggel, a DESI- és az I-DESI indexszel foglalkozó szakirodalom áttekintése után ráterünk az általunk alkalmazott módszerekhez (elsőként a TDEA-hoz) kapcsolódó szakirodalmi munkák bemutatására.

Az alap DEA módszertana gyakorlatilag két csoportra bontja a döntéshozó egységeket (DMU-k): hatékonyakra és nem hatékonyakra. A nem hatékony DMU-kat hatékonysági indexük alapján sorrendbe lehet állítani, a hatékonyakat azonban nem. Ebben az összefüggésben felmerül a kérdés, hogy valóban rangsort kell-e felállítani, vagy elegendő a DMU-kat közel azonos hatékonyságú csoportokra osztani. Ezt a csoportosítást *Barr és munkatársai (2000)* javasolták megvizsgálni a DEA-modellekben. Egy szekvenciális algoritmust dolgoztak ki, amelyben a hatékony DMU-kat hagymahéjként (*onion peel*) elkülönítik a többi DMU-tól. A maradékon ezután újra meghatározzák a hatékony egységeket, és szintén „meghámazzák a hagymát”. Mindezt addig végzik, amíg el nem fogynak az egységek. Ezután a DMU-k hatékonyságuk szerint csoportosíthatók. A *Tiered Data Envelopment Analysis* magyar elnevezésével még nem találkoztunk, így a

rövidítését, a TDEA-t fogjuk használni. Egy lehetséges magyar elnevezés a lépcsőzetes DEA (burkológörbe-elemzés) lehet. Ugyanakkor a nemzetközi szakirodalomban a módszer lényege alapján sokszor hagymahéjazásként (*onion peeling*) is szokták emlegetni. A Barr és munkatársai által kidolgozott módszert viszonylag széles körben használják a társadalomtudományokban, különösen a menedzsmentben.

A kikötői logisztika bizonyult a legtermékenyebb alkalmazásnak. Az első közzétett alkalmazást *Cheon (2009)* publikálta, a dél-koreai kikötők hatékonyságát vizsgálta ezzel a technikával, a dél-koreai és az orosz kikötők hatékonyságát pedig *Den és munkatársai (2016)* hasonlították össze ezzel a modellel.

Egy másik alkalmazási terület a felsőoktatáshoz kapcsolódik. *Bougnol és Dulá (2006)* dolgozatukban 616 amerikai egyetemet vizsgáltak hatékonyságuk szerint a lépcsőzetes DEA segítségével. Arra a következtetésre jutottak, hogy ez a módszer ugyanazt az eredményt adta, mint a kormányzati adminisztráció által használt hivatalos mérési módszer. A legújabb alkalmazások között szerepel *Johnes (2018)* munkája, aki az egyetemi listákon szereplő brit egyetemeket vizsgálta ezzel a módszerrel. Mindkét cikkben a csoportosítás és nem a rangsorolás dominált.

A *Tiered Data Envelopment Analysis* társadalomtudományokban való alkalmazásának rövid ismertetése után áttekintjük a diszkrét többkritériumú döntésemélet alkalmazását.

Az országok digitális hatékonyságának összehasonlítására a DEA módszerén kívül a többkritériumú döntésemélet is lehetőséget nyújt (*Ehrgott, 2005*). A klasszikus, folytonos döntési terű döntési problémákkal szemben ebben az esetben az országok diszkrét mivolta miatt a döntési tér is diszkrét, ezért az elemek közötti összehasonlítás véges lépésben hajtható végre. Ehrgott felhívja a figyelmet arra, hogy három optimalitási elnevezés is létezik a legjobbnak tekinthető elemek, esetünkben országok megnevezésére. Az egyik ebből a hatékony, a másik a Pareto-optimális, végül a nemdominált elemek. A folytonos döntési terű modellekben a három megnevezés eltérhet egymástól, azonban a diszkrét esetben a három fogalom teljesen egybeesik. A továbbiakban a három megnevezés közül a Pareto-optimális elemek, országok elnevezést fogjuk használni.

Az elemek Pareto-optimalitási összehasonlításával a rendezésemélet foglalkozik (*Ehrgott, 2005; Radziszewski–Szadkowski, 2015*). A rendezésemélet a matematika egyik ága, egy adott halmaz elemei közötti bináris kapcsolatot vizsgál. A rendezésnek két fő típusa van: részleges és teljes. Teljes rendezés esetén a halmaz minden egyes eleme között van kapcsolat, vagyis eldönthető, hogy két elem közül melyik tekinthető előnyben részesítettnek a másikkal szemben. Ha van olyan eset is, amikor egy adott halmaz két eleme között nem lehet egyértelmű preferenciát megállapítani, azaz a halmaz elemei összehasonlíthatatlanok,

akkor beszélhetünk részleges rendezésről. A közgazdaságtanban a teljes rendezést rangsorolásnak nevezik. Ilyenkor egyértelmű sorrendet lehet felállítani az elemek között. Ezzel szemben a részleges rendezés inkább olyan csoportokat állít fel egy halmaz elemei között, amelyeknek a preferenciája értelmezhető. A közgazdaságtanban a részleges sorrendiséget a mikroökonómiai fogyasztóelméletben találjuk meg, amikor fogyasztói kosarakat hasonlítunk össze. A részleges rendezés elmélete a társadalmi-gazdasági rendszerekben is alkalmazható.

Fattore és Maggino (2014) a részben rendezett halmazok (*poset, partially ordered set*) elméletét alkalmazták a szociológiai szegénység és a társadalmi egyenlőtlenség elméletére. Kutatásuk fő célja az volt, hogy olyan alkalmazásokat találjanak, amelyek hasznosak a posetelmélet gyakorlatában a társadalmi-gazdasági statisztikák és a társadalmi mutatók konstruálása terén. Az első probléma az, hogy a többdimenziós szegénység értékelése és többdimenziós összehasonlítása olyan rangsorolási problémához vezet, amit nem tudunk egyértelműen meghatározni. Ez az egyik leglényegesebb példa az ilyen jellegű társadalmi-gazdasági elemzésben.

Annoni és munkatársai (2017), valamint *Beycan és Suter (2017)* folytatták a posetelmélet alkalmazását a több szempontú szociológiai szegénységelmélet feltérképezésében, különös tekintettel annak regionális aspektusára.

Fattore és Arcagni (2021) 8 olyan alkalmazási területet sorol fel, ahol a posetelméletet már alkalmazták, pl. menekültek „áthelyezése” az EU-ban, költségvetési politikák összehasonlítása stb. A gazdasági alkalmazás különbözik a többi, főként szociológiai alkalmazástól (*Bachtrögler et al., 2016; Badinger-Reuter, 2015*). Megjegyzendő, hogy a posetelmélet alkalmazása kiterjedhet a társadalomtudományok széles körére. *Fattore és Arcagni (2021)* tanulmányának további része nagyszerű áttekintést ad a posetelméletről és a Hasse-diagramtechnikáról.

A Hasse-diagram vizualizálásához a DART-szoftvert alkalmazzuk, amelyet az Európai Unió megbízásából készítettek, és szabadon hozzáférhető az unió internetes oldalain. A szoftverről jó ismertetést adnak *Manganaro és munkatársai (2008)*.

2. A lépcsőzetes DEA, a Pareto-hatékonysági eljárások és a k-közép klaszterezés bemutatása

Az alkalmazott három módszert már korábban is használták a beszállítókiválasztás területén (*Dobos–Vörösmarty, 2022a; 2022b; Dobos, 2023*). *Bánhidi és Do-*

bos (2023a) az Európai Unió 27 országának csoportosításra és egyúttal ordinális skálára történő leképezését mutatták be. A most bemutatandó módszer – az adathalmaz különbözőségén túl – abban is különbözik az előző alkalmazásoktól, hogy nem a hierarchikus klaszterezési technikát használja, hanem a k-közép módszert. Ez az eljárás azért hasznosabb, mert megadja a klaszterközepeket, amelyeket az unió által javasolt dimenziósúlyokkal értékelve sorrendet állíthatunk fel a klaszterek között.

Mielőtt a lépcsőzetes DEA (TDEA) módszerét és a lépcsőzetes Pareto-hatékonyságot az I-DESI adataira alkalmaznánk, röviden bemutatjuk a „lépcsőzetes” kifejezés értelmezését. Előre bocsátjuk, hogy az ilyen eljárással az országokat egy ordinális skálára képezzük le, azonban nem tudjuk teljesen rangsorolni.

A lépcsőzetes (*tiered*) kifejezés arra utal, hogy egy szekvenciális algoritmust alkalmazunk, és lépésenként hajtjuk végre azt a matematikai operációt, amit éppen alkalmazunk. Ez esetünkben a DEA-hatékony országok (DMU-k), vagy a másik esetben a Pareto-hatékony országok felkutatása. A második lépésben a megtalált hatékony országokat eltávolítjuk az országok halmazából, és a használt operációt alkalmazzuk a megmaradt országokra. Az alkalmazás blokkdiagramját az alábbi táblázat tartalmazza.

2. táblázat

A lépcsőzetes DEA módszerének blokkdiagramja
Block diagram of the Tiered DEA method

1. Kezdeti értékek: $t \leftarrow 1$, $D^{[1]} \leftarrow D$

2. Amíg $D^{[t]} \neq \emptyset$ do:

a) Alkalmazd a DEA módszerét a $D^{[t]}$ -ben lévő DMU-kra, hogy meghatározd az $E^*_{[t]}$ halmazt.

b) $I^*_{[t]} = D^{[t]} - E^*_{[t]}$.

c) $t \leftarrow t + 1$.

d) $D^{[t]} = I^*_{[t]}$.

ahol t a lépcső indexe és $E^*_{[t]}$ and $I^*_{[t]}$ a hatékony és nem hatékony DMU-k halmaza a t -ik lépcsőben, a $D^{[t]}$ halmazra vonatkoztatva.

Forrás: *Barr et al. (2000)*.

A 2. táblázatban a TDEA alkalmazását szemléltetjük. Ugyanezt az algoritmust alkalmazhatjuk a Pareto-hatékony országok meghatározására lépcsőzetesen, azaz először az összes országra meghatározzuk a Pareto-hatékony, nem dominált országokat, majd ezeknek a listából való eltávolítása után, a maradék halmazon vizsgáljuk a Pareto-hatékony országokat. Ezeket a lépéseket addig végezzük, amíg az országok halmaza üres nem lesz.

A következőkben bemutatjuk, hogy a TDEA-val, a Pareto-hatékonysággal és a k-közép klaszterezéssel hogyan rangsorolhatjuk az országokat digitális fejlett-

ségük szerint. Erre azért van szükség, mert a TDEA alkalmazásához többféle módszer áll rendelkezésre, ahogyan a klaszterelemzésre is. Mivel az I-DESI-mutatók mindegyike esetében azt az országot tekintjük fejlettebbnek, amelyiknek a dimenzióértéke magasabb, a DEA egy olyan változatát kell alkalmaznunk, amelyben csak outputkritériumok vannak, de inputkritériumok nincsenek (DEA –WEI, *DEA without explicit inputs*). Ilyen alkalmazást találunk *Bánhidi és Dobos (2023b)* cikkében. Ekkor egy CCR-I, vagyis konstans skáláhozadékú DEA-modellt használhatunk, amelynek matematikai alakja:

$$\mathbf{u} \cdot \mathbf{y}_j \leq 1; j = 1, 2, \dots, p, \quad (1)$$

$$\mathbf{u} \geq \mathbf{0}, \quad (2)$$

$$\mathbf{u} \cdot \mathbf{y}_j \rightarrow \max. \quad (3)$$

Ebben az esetben az \mathbf{y}_j vektor ($j = 1, 2, \dots, p$) a j -ik ország digitális dimenzióinak a vektora. Ez a DEA-modell fut le az első lépésben 45-ször, ennyi ország került be a digitális fejlettség vizsgálatába. Tehát először $p = 45$, majd az értéke minden lépcsőben csökken a kiszűrt, DEA-hatékony országok számával. Ezt a lépéssorozatot addig végezzük, amíg nem marad több országunk. Az eljárást szokták hagymahéjazásnak, vagy egyszerűen *peeling* technikának is nevezni.

A fenti lépcsőzetes algoritmust hajtjuk végre a Pareto-hatékony országokra is, de ekkor nem egy (1)–(3) típusú DEA-modellt oldunk meg lineáris programozással, hanem megkeressük az összes olyan országot, amelyet nem dominál más ország abban az értelemben, hogy létezik olyan i -ik ország, hogy $\mathbf{y}_j \leq \mathbf{y}_i$. A DART-algoritmus (*Manganaro et al., 2008*) segítségével az ilyen országokat gyorsan meghatározhatjuk, ami egy Hasse-diagramot ad, amelyet majd a következő részben mutatunk be. Végül a k -közép klaszteranalízis segítségével rendeljük ordinális csoportokba az országokat digitális fejlettség szempontjából. Ehhez azért a k -közép klaszterezést választottuk, mert ez a klaszterezési eljárás az egyes csoportokat a középpontjuk segítségével azonosítja (*Scitovski et al., 2021*). Az SPSS 28 programcsomag még a hierarchikus klaszterezést is felajánlja, de ekkor a klaszterközöpeket még külön meg kellene határozni. Ha ismertek a klaszterközöpek, az *Európai Bizottság (2021)* által adott súlyokkal besúlyozhatjuk a klaszterek közöpeit, amelyeket aztán ordinálisan sorbarendeizhetünk, és ezzel a csoportban lévő országokat nem a k -középi klaszterezéssel kapott csoportszámokkal látjuk el, hanem a dimenziósúlyokkal ellátott értékek csökkenő sorrendjével adott sorrendbe állítjuk.

A három módszer ismertetése után a csoportképzést szemléltetjük.

3. A módszerek alkalmazása az országok digitális fejlettség alapján való csoportosítására

Először a lépcsőzetes *Data Envelopment Analysis* (TDEA), majd a Pareto-hatékonyság módszerét, végül pedig a k-közép klaszterelemzést alkalmazzuk az I-DESI 2020. évi fő dimenzióinak adataira (lásd a Függelék F1. táblázatát).

3.1. Hámozási technika alkalmazása a hatékony országok kiválasztására

Az (1)–(3) modellt minden egyes DMU-ra, esetünkben az összes országra meg kell oldani a hatékonysági mutatók meghatározása érdekében. A problémák megoldására kereskedelmi szoftverek használhatók, például a Microsoft Excel Solver. A dolgozatban végig ezt a szoftvert alkalmazzuk a TDEA-modellünk megoldására.

A hámozási technika vagy lépcsőzetes DEA (TDEA) egy ismert módszer annak megállapítására, hogy mely DMU-k, esetünkben az országok milyen hatékonysági szinten lehetnek (*Radziszewski–Szadkowski, 2014*). Ez a módszer hasonlít a Hasse-diagram-technikához, de nem feltétlenül találja meg az összes Pareto-hatékony DMU-t.

A hámozási technika (*peeling technique*) egy szekvenciális módszer. Először megvizsgáljuk az egyes DMU-kat, és megnézzük, melyek a hatékonyak, azaz rendelkeznek azonos Data Envelopment Analysis (DEA-) hatékonysággal. Ezután kivesszük ezeket, és a fennmaradó DMU-kon újabb hatékonysági vizsgálatot végzünk. A DEA-hatékonysági vizsgálatot a lehető legtöbb lépésben végezzük el.

A hámozási technikával az adatainkból hét hagymahéjat alakítottunk ki. A számítási lépéseket és azok eredményeit a DEA-hatékonyságok lépcsőzetes csökkenése esetére a 3. táblázatban mutatjuk be. A hagymahéjak áttekintése a 4. táblázatban látható. Az első lépcsőben található országok digitális fejlettsége a legmagasabb. Ezzel a módszerrel fokozatosan csökkennek az adott fejlettségi szintek. A legfejletlenebb országokat a 7. lépcsőben, vagyis héjon találjuk.

3. táblázat

A hámozási algoritmus eredményei a DEA-hatékonyságokkal együtt
Results of the peeling algorithm with DEA efficiencies

| Ország | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. |
|--------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | lépcső | | | | | | |
| Dánia | 1,000 | | | | | | |
| Dél-Korea | 1,000 | | | | | | |
| Egyesült Allamok | 1,000 | | | | | | |
| Finnország | 1,000 | | | | | | |
| Franciaország | 1,000 | | | | | | |
| Hollandia | 1,000 | | | | | | |
| Izland | 1,000 | | | | | | |
| Japán | 1,000 | | | | | | |
| Svájc | 1,000 | | | | | | |
| Ausztrália | 0,934 | 1,000 | | | | | |
| Esztország | 0,911 | 1,000 | | | | | |
| Írország | 0,869 | 1,000 | | | | | |
| Izrael | 0,946 | 1,000 | | | | | |
| Málta | 0,934 | 1,000 | | | | | |
| Norvégia | 0,985 | 1,000 | | | | | |
| Svédország | 0,977 | 1,000 | | | | | |
| Kanada | 0,844 | 0,909 | 1,000 | | | | |
| Németország | 0,886 | 0,925 | 1,000 | | | | |
| Luxemburg | 0,922 | 0,990 | 1,000 | | | | |
| Új-Zéland | 0,846 | 0,920 | 1,000 | | | | |
| Spanyolország | 0,845 | 0,922 | 1,000 | | | | |
| Egyesült Királyság | 0,927 | 0,982 | 1,000 | | | | |
| Ausztria | 0,831 | 0,883 | 0,929 | 1,000 | | | |
| Belgium | 0,853 | 0,911 | 0,940 | 1,000 | | | |
| Kína | 0,777 | 0,849 | 0,967 | 1,000 | | | |
| Ciprus | 0,855 | 0,925 | 0,971 | 1,000 | | | |
| Litvánia | 0,849 | 0,908 | 0,941 | 1,000 | | | |
| Csehország | 0,822 | 0,878 | 0,911 | 0,985 | 1,000 | | |
| Görögország | 0,799 | 0,864 | 0,901 | 0,937 | 1,000 | | |
| Lettország | 0,770 | 0,823 | 0,851 | 0,905 | 1,000 | | |
| Románia | 0,749 | 0,797 | 0,827 | 0,917 | 1,000 | | |
| Oroszország | 0,728 | 0,792 | 0,889 | 0,992 | 1,000 | | |
| Szlovénia | 0,801 | 0,857 | 0,885 | 0,963 | 1,000 | | |
| Brazília | 0,663 | 0,727 | 0,821 | 0,875 | 0,945 | 1,000 | |
| Bulgária | 0,805 | 0,860 | 0,896 | 0,952 | 0,988 | 1,000 | |
| Magyarország | 0,739 | 0,793 | 0,821 | 0,874 | 0,935 | 1,000 | |
| Olaszország | 0,792 | 0,850 | 0,881 | 0,937 | 0,982 | 1,000 | |
| Mexikó | 0,679 | 0,753 | 0,830 | 0,910 | 0,954 | 1,000 | |
| Portugália | 0,774 | 0,833 | 0,866 | 0,928 | 0,957 | 1,000 | |
| Szerbia | 0,686 | 0,730 | 0,757 | 0,826 | 0,952 | 1,000 | |
| Szlovákia | 0,727 | 0,779 | 0,806 | 0,857 | 0,940 | 1,000 | |
| Lengyelország | 0,730 | 0,787 | 0,809 | 0,857 | 0,922 | 0,998 | 1,000 |
| Horvátország | 0,760 | 0,815 | 0,851 | 0,905 | 0,934 | 0,963 | 1,000 |
| Törökország | 0,585 | 0,633 | 0,672 | 0,751 | 0,809 | 0,940 | 1,000 |
| Chile | 0,707 | 0,759 | 0,791 | 0,841 | 0,869 | 0,916 | 1,000 |

4. táblázat

Az „országahagymahéjak”
The “onion peels” of countries

| | |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. héj (9 ország) | Dánia, Finnország, Franciaország, Izland, Japán, Dél-Korea, Hollandia, Svájc, Egyesült Államok |
| 2. héj (7 ország) | Ausztrália, Észtország, Írország, Izrael, Málta, Norvégia, Svédország |
| 3. héj (6 ország) | Kanada, Németország, Luxemburg, Új-Zéland, Spanyolország, Egyesült Királyság |
| 4. héj (5 ország) | Ausztria, Belgium, Kína, Ciprus, Litvánia |
| 5. héj (6 ország) | Csehország, Görögország, Lettország, Románia, Oroszország, Szlovénia |
| 6. héj (8 ország) | Brazília, Bulgária, Magyarország, Olaszország, Mexikó, Portugália, Szerbia, Szlovákia |
| 7. héj (4 ország) | Chile, Horvátország, Lengyelország, Törökország |

3.2. Az országok lépcsőzetes csoportosítása a Pareto-hatékonysággal

A rendezéseméletben a részlegesen rendezett halmaz fogalma formalizálja a döntéshozó egységek (DMU-k) halmazának rendezésére, sorrendbe állítására, vagy elrendezésére vonatkozó intuitív elképzelést. A halmaz a DMU-k halmazaként és egy bináris rendezési relációként definiálható, amely a halmazt kétféle részhalmazzra bontja: egy olyanra (vagy olyanokra), amelyben a DMU-k minden egyes párja esetében az egyik DMU egy másik DMU-t követ, és egy olyanra, amelyben a DMU-k nem kapcsolódnak egymáshoz. Néhány pár nem felel meg a relációnak, ami azt jelenti, hogy e párokból egyik DMU sem előzi meg a másikat: egyszerűen csak nem összehasonlíthatók. A részleges sorrend fogalma tehát a közismertebb teljes sorrend általánosítása, amelyben minden pár kapcsolatban áll egymással (*Radziszewski–Szadkowski, 2014*).

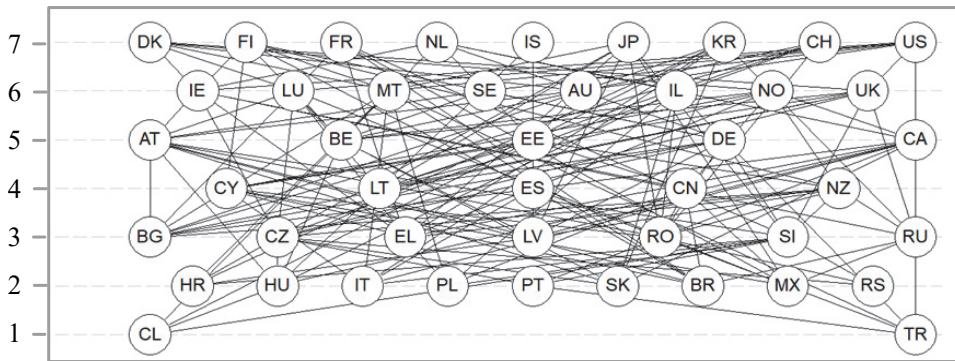
A szakirodalomban a részlegesen rendezett halmaz példaként általában egy adott népesség genealógiai leszármazásának esetét szokták használni. A minta egyes párojai hordozzák az ős-leszármazott kapcsolatot, más párok viszont nem.

Egy véges *poset* (halmaz) vizualizálható a Hasse-diagramján keresztül, ami ábrázolja az egyes DMU-k közötti rendezési kapcsolatot, és lehetővé teszi a teljes részleges rendezési struktúra rekonstrukcióját. Egy valós életbeli rangsorolási feladat példája, amelyet a parciális sorrend-megközelítés segítségével állítottak össze (*Voigt et al., 2006*), példaértékű esete egy ilyen hatékony alkalmazásnak. Ezt a relációt a továbbiakban Pareto-dominanciának vagy Pareto-hatékonyságnak nevezzük, a mikroökonómia termeléselmélete a termelési halmaz effektív felületének meghatározására, azaz a termelési függvény leírására használja. A véges számú objektumot tartalmazó halmazok a Hasse-mátrixszal jellemezhetők és a Hasse-diagrammal szemléltethetők (*Manganaro et al., 2008*).

Az I-DESI-adatokkal nyert Hasse-diagramot az 1. ábrán láthatjuk. A 7. szinten lévő országok azok, amelyeket semelyik másik ország (digitális) dimenzióadatai nem dominálnak, tehát Pareto-hatékonyak. Ekkor is 9 ország lesz hatékony, amennyi a TDEA-nál is adódott. Érdekes módon a szintek száma ebben az esetben is 7, mint a TDEA esetében. A Hasse-diagramról leolvasható, hogy az egyes országok melyik szintre kerülnek. Mivel már a hámozási technika használatakor is növekvő értékeket rendeltünk a leghatékonyabb országokhoz, a szintek számát fordított sorrendben, azaz növekvő, és nem csökkenő sorrendben adjuk meg, ahogyan a héjak meghatározásánál is tettük.

1. ábra

Az országok közötti Pareto-hatékonyak Hasse-diagramja
Hasse diagram of Pareto efficiencies between countries



Forrás: DART-application.

A Hasse-diagram az 1. ábrán és (a szintek sorrendjének megfordítása után, az országkódok kibontásával) az 5. táblázatban látható.

5. táblázat

Az országok szintjei a Hasse-diagram esetében (fordított sorrendben)
Country levels for the Hasse diagram (in reverse order)

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. szint (9 ország) | Dánia, Finnország, Franciaország, Izland, Japán, Dél-Korea, Hollandia, Svájc, Egyesült Államok |
| 2. szint (8 ország) | Ausztrália, Írország, Izrael, Málta, Norvégia, Egyesült Királyság, Luxemburg, Svédország |
| 3. szint (5 ország) | Ausztria, Belgium, Észtország, Németország, Kanada |
| 4. szint (5 ország) | Ciprus, Litvánia, Spanyolország, Kína, Új-Zéland |
| 5. szint (7 ország) | Bulgária, Csehország, Görögország, Lettország, Románia, Szlovénia, Oroszország |
| 6. szint (9 ország) | Horvátország, Magyarország, Olaszország, Lengyelország, Portugália, Szlovákia, Brazília, Mexikó, Szerbia |
| 7. szint (2 ország) | Chile, Törökország |

A maximális elemek, amelyeket nem dominál egyetlen más ország sem, a legfelső (azaz az 1. ábrán a 7., az 5. táblázatban az 1.) szinten található észak- és nyugat-európai, távol-keleti országok, valamint az Egyesült Államok. A legalsó szinten Chile és Törökország található, ezek a fő dimenziók adatai alapján egyetlen másik országot sem dominálnak, és még az előző (utolsó előtti) szinten, a szintén gyengébb digitális fejlettségű országok között is van őket domináló ország.

3.3. A k-közép klaszterezés alkalmazása

A k-közép klaszterelemzés egy többváltozós statisztikai módszer, amely lehetővé teszi az objektumok, esetünkben a 45 ország csoportosítását (6. táblázat). A klaszterek számát úgy választottuk meg, hogy a hagymahéjak és a Pareto-hatékonysági szintek számával legyen egyenlő, azaz 7 klasztert alakítottunk ki.

6. táblázat

Az országok csoportosítása klaszterelemzéssel

Country grouping by cluster analysis

| | |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. klaszter (5 ország) | Dánia, Finnország, Hollandia, Norvégia, Egyesült Államok |
| 5. klaszter (7 ország) | Ausztria, Belgium, Csehország, Magyarország, Lettország, Portugália, Szlovénia |
| 6. klaszter (14 ország) | Brazília, Bulgária, Kína, Ciprus, Görögország, Olaszország, Litvánia, Málta, Mexikó, Lengyelország, Románia, Oroszország, Szerbia, Spanyolország |
| 2.. klaszter (3 ország) | Izland, Svédország, Svájc |
| 3. klaszter (7 ország) | Kanada, Németország, Írország, Izrael, Japán, Luxemburg, Egyesült Királyság |
| 4. klaszter (5 ország) | Ausztrália, Észtország, Franciaország, Új-Zéland, Dél-Korea |
| 7. klaszter (4 ország) | Chile, Horvátország, Szlovákia, Törökország |

Az SPSS 28 statisztikai szoftver k-közép-algoritmusa a 7 klaszternek a 7. táblázatban megadott közepeit adta az 5 dimenzió mentén. A táblázathoz hozzávettük az egyes digitális dimenziók Európai Bizottság által javasolt súlyait is, így a csoportközepeket súlyozva megkapjuk, hogy az egyes klaszterekhez milyen digitális fejlettségi mutató (szint) rendelhető, ezek alapján az egyes csoportok között alakítható ki sorrend („rangsor”).

7. táblázat

Az egyes klaszterek csoportközéppontjai, és azok digitális fejlettségi mutatói
Each cluster's group mean and their digital development indicators

| Klaszterek | Digitális dimenziók | | | | | A klaszter digitális fejlettsége |
|------------|----------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| | össze- kapcsoltság (internet- hozzáférés) | humán tőke | internetes szolgál- tatások használata | digitális technológiák integráltsága | digitális közszol- gáltatások | |
| 1. | 0,69 | 0,58 | 0,68 | 0,73 | 0,78 | 0,683 |
| 2. | 0,66 | 0,48 | 0,50 | 0,45 | 0,81 | 0,572 |
| 3. | 0,60 | 0,41 | 0,46 | 0,32 | 0,55 | 0,468 |
| 4. | 0,54 | 0,35 | 0,35 | 0,16 | 0,53 | 0,387 |
| 5. | 0,66 | 0,54 | 0,67 | 0,77 | 0,50 | 0,630 |
| 6. | 0,65 | 0,47 | 0,56 | 0,60 | 0,63 | 0,579 |
| 7. | 0,54 | 0,27 | 0,38 | 0,32 | 0,38 | 0,381 |
| Súlyok | 0,25 | 0,25 | 0,15 | 0,20 | 0,15 | |

A 7. táblázatból látható a súlyozott csoportközepek alapján, hogy a klasztereket csökkenő sorrendbe téve a 8. táblázatban lévő ordinális skálához rendeltetést hajthatjuk végre. A 6. táblázatban a klasztereket még a sorrendi számok alapján szerepeltettük.

8. táblázat

Az egyes klaszterek csoportközéppontjai
Each cluster's group mean

| Klaszterek | A klaszter digitális fejlettsége | Sorrendi szám |
|------------|----------------------------------|---------------|
| 1. | 0,683 | 1. |
| 5. | 0,630 | 2. |
| 6. | 0,579 | 3. |
| 2. | 0,572 | 4. |
| 3. | 0,468 | 5. |
| 4. | 0,387 | 6. |
| 7. | 0,381 | 7. |

Az eredmények bemutatása után a háromféle módszerrel nyert eredményeket korrelációs elemzés segítségével vetjük össze.

3.4. A „hagymahéjak”, a Pareto-hatékony szintek, a rendezett klaszterek összehasonlítása

A digitális fejlettség szerint mindhárom módszerrel 7-7 csoportot alakítottunk ki. Az a kérdés, hogy a 3 módszer mennyire ad különböző megoldást. Ehhez az ordinális változók összemérésére használt Kendall-féle tau-b és a Spearman-féle rho korrelációs mutató áll rendelkezésre.

9. táblázat

A módszerek eredményei közötti Kendall- és Spearman-korrelációk
Kendall and Spearman correlations between the results of the methods

| Megnevezés | | TDEA | Hasse-diagram | K-közép |
|--------------------|--------------------------|---------|----------------|----------------|
| Kendall-féle tau-b | | | | |
| TDEA | Korrelációs együttható | 1,000 | 0,939** | 0,703** |
| | Szignifikáns (kétoldali) | | 0,000 | 0,000 |
| | N | 45 | 45 | 45 |
| Hasse-diagram | Korrelációs - együttható | 0,939** | 1,000 | 0,716** |
| | Szignifikáns (kétoldali) | 0,000 | | 0,000 |
| | N | 45 | 45 | 45 |
| K-közép | Korrelációs együttható | 0,703** | 0,716** | 1,000 |
| | Szignifikáns (kétoldali) | 0,000 | 0,000 | |
| | N | 45 | 45 | 45 |
| Spearman-féle rho | | | | |
| TDEA | Korrelációs együttható | 1,000 | 0,977** | 0,821** |
| | Szignifikáns (kétoldali) | | 0,000 | 0,000 |
| | N | 45 | 45 | 45 |
| Hasse-diagram | Korrelációs együttható | 0,977** | 1,000 | 0,831** |
| | Szignifikáns (kétoldali) | 0,000 | | 0,000 |
| | N | 45 | 45 | 45 |
| K-közép | Korrelációs együttható | 0,821** | 0,831** | 1,000 |
| | Szignifikáns (kétoldali) | 0,000 | 0,000 | |
| | N | 45 | 45 | 45 |

** A korreláció szignifikáns 0,01-os szinten (kétoldali).

A lépcsőzetes DEA- és a Pareto-hatékony szintek közötti korrelációs koefficiens esetén erős lineáris kapcsolatot mutat, ami arra utal, hogy a két módszer közül elegendő az egyiket alkalmazni, mert szinte azonos eredményt adnak. A k-közép klaszterezés a csoportközépek súlyozásával ezektől valamivel jelentősebb mértékben eltérő eredmény születik, de a Kendall-féle tau-b- és a Spearman-féle rho-mutatók alapján még így is erős (1%-os szinten is szignifikáns) kapcsolat van az ordinális változók között.

4. Összefoglalás

Tanulmányunkban a nemzetközi digitális gazdasági és társadalmi index (I-DESI) 2020. évi kiadásának 5 alapidimenziója alapján, de a döntésemélet és a többváltozós statisztika objektív módszerei (lépcsőzetes DEA, Pareto-hatékonyság, K-közép klaszterezés) alapján csoportosítottuk az Európai Unió országait és ezek legfőbb nemzetközi versenytársait. Az adatbázisban szereplő 45 országot a digitális fejlettségük dimenziói alapján mindhárom módszerrel 7 csoportra osztottuk, majd az országcsoportok hasonlóságát a Spearman-féle ρ és a Kendall-féle tau-b korrelációs együtthatók alapján hasonlítottuk össze. Eredményeink szerint az I-DESI-adatbázis esetében mindhárom csoportosítási módszer, de különösen a lépcsőzetes Pareto-hatékonyság és a TDEA igen hasonló országcsoportokat eredményez: Észak- és Nyugat-Európa, az Egyesült Államok és a Távol-Kelet legfejlettebb országai minden csoportosítás alapján világosan elkülönülnek Kelet- és Dél-Európa és Latin-Amerika kevésbé fejlett országaitól, és egyértelműen megelőzik azokat.

Magyarország helyzetét a k-közép klaszterezés mutatja a legkedvezőbbnek, ami hazánkat a közepesen fejlett nyugati, illetve közép-kelet- és dél-európai országokkal sorolja egy klaszterbe. A másik két módszer viszont Magyarországot a második legfejletlenebb csoportba helyezi, amelybe kelet- és dél-európai, valamint közép- és dél-amerikai országok tartoznak. Ez utóbbi besorolás annyiban realisabbnak tűnik, hogy hazánk minden I-DESI-dimenzió alapján az adatbázisban szereplő országok átlagos szintjénél alacsonyabb fejlettséget ér el, a digitális közszolgáltatások dimenziójában pedig különösen rossz teljesítményt nyújt.

Bár Magyarország eredményei a hozzánk hasonló történelmi múltú, gazdasági helyzetű közép-kelet-európai országok, például a V4-ek másik 3 tagjának (Szlovákia, Csehország, Lengyelország) teljesítményével összevetve nem mondhatók meglepőnek vagy kirívóan rossznak, a közép-kelet-európai régió néhány országa, különösen Észtország teljesítménye arra mutat rá, hogy megfelelő digitális fejlesztési stratégia és szakpolitikák mellett a középmezőny felső része is utolérhető lenne. A 3 csoportosítási módszert együttesen tekintve a V4-ek közül összességében Csehország digitális fejlettsége a legmagasabb, de előnye nem mondható számottevőnek: k-közép klaszterezés esetén Magyarországgal van nagyjából hasonló szinten, míg a másik két módszer szerint egy szinttel van az utána következő országok (Magyarország és Szlovákia) felett.

Függelék

F1. táblázat

Vizsgálatunk alapadatai (2020-as I-DESI-adatok, a 2018. évre számítva)
Basic data of our study (data of the 2020 I-DESI, for the year 2018)

| Országok | Dimenziók | | | | | I-DESI |
|---------------|---------------------|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--------|
| | internet-hozzáférés | humán tőke | internetes szolgáltatások használata | digitális technológiák integráltsága | digitális közszolgáltatások | |
| Súlyszámok | 0,25 | 0,25 | 0,15 | 0,20 | 0,15 | |
| EU27-átlag | 0,62 | 0,42 | 0,47 | 0,41 | 0,56 | 0,50 |
| Ausztria | 0,60 | 0,50 | 0,48 | 0,43 | 0,57 | 0,52 |
| Belgium | 0,63 | 0,33 | 0,55 | 0,51 | 0,43 | 0,49 |
| Bulgária | 0,60 | 0,37 | 0,27 | 0,22 | 0,49 | 0,40 |
| Ciprus | 0,63 | 0,41 | 0,50 | 0,20 | 0,64 | 0,47 |
| Csehország | 0,61 | 0,40 | 0,45 | 0,42 | 0,48 | 0,47 |
| Dánia | 0,73 | 0,58 | 0,74 | 0,66 | 0,83 | 0,70 |
| Észtország | 0,63 | 0,49 | 0,52 | 0,49 | 0,77 | 0,57 |
| Finnország | 0,70 | 0,60 | 0,58 | 0,80 | 0,74 | 0,68 |
| Franciaország | 0,67 | 0,50 | 0,41 | 0,46 | 0,86 | 0,57 |
| Görögország | 0,59 | 0,35 | 0,36 | 0,13 | 0,59 | 0,40 |
| Hollandia | 0,64 | 0,57 | 0,65 | 0,83 | 0,77 | 0,68 |
| Horvátország | 0,57 | 0,27 | 0,30 | 0,27 | 0,26 | 0,35 |
| Írország | 0,61 | 0,57 | 0,51 | 0,61 | 0,69 | 0,60 |
| Lengyelország | 0,54 | 0,30 | 0,36 | 0,11 | 0,52 | 0,36 |
| Lettország | 0,57 | 0,27 | 0,48 | 0,38 | 0,36 | 0,41 |
| Litvánia | 0,63 | 0,41 | 0,49 | 0,23 | 0,38 | 0,44 |
| Luxemburg | 0,66 | 0,57 | 0,65 | 0,63 | 0,59 | 0,62 |
| Magyarország | 0,55 | 0,31 | 0,43 | 0,38 | 0,37 | 0,41 |
| Málta | 0,70 | 0,39 | 0,39 | 0,31 | 0,57 | 0,48 |
| Németország | 0,63 | 0,50 | 0,54 | 0,67 | 0,54 | 0,58 |
| Olaszország | 0,59 | 0,27 | 0,34 | 0,19 | 0,52 | 0,38 |
| Portugália | 0,58 | 0,24 | 0,37 | 0,39 | 0,47 | 0,41 |
| Románia | 0,55 | 0,41 | 0,46 | 0,18 | 0,48 | 0,42 |
| Spanyolország | 0,60 | 0,39 | 0,43 | 0,24 | 0,71 | 0,47 |
| Svédország | 0,69 | 0,60 | 0,64 | 0,73 | 0,57 | 0,65 |
| Szlovákia | 0,54 | 0,29 | 0,44 | 0,27 | 0,41 | 0,39 |
| Szlovénia | 0,59 | 0,42 | 0,39 | 0,39 | 0,53 | 0,47 |

(A táblázat folytatása a következő oldalon)

(folytatás)

| Országok | Dimenziók | | | | | |
|--------------------|---------------------|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--------|
| | internet-hozzáférés | humán tőke | internetes szolgáltatások használata | digitális technológiák integráltsága | digitális közszolgáltatások | I-DESI |
| EU-n kívüli átlag | 0,59 | 0,43 | 0,52 | 0,46 | 0,60 | 0,52 |
| Ausztrália | 0,65 | 0,57 | 0,52 | 0,50 | 0,77 | 0,60 |
| Brazília | 0,46 | 0,36 | 0,37 | 0,10 | 0,56 | 0,37 |
| Chile | 0,53 | 0,29 | 0,25 | 0,29 | 0,35 | 0,35 |
| Dél-Korea | 0,69 | 0,37 | 0,54 | 0,35 | 0,85 | 0,54 |
| Egyesült Államok | 0,70 | 0,66 | 0,68 | 0,73 | 0,81 | 0,71 |
| Egyesült Királyság | 0,67 | 0,43 | 0,61 | 0,65 | 0,64 | 0,59 |
| Izland | 0,72 | 0,51 | 0,75 | 0,71 | 0,38 | 0,62 |
| Izrael | 0,55 | 0,47 | 0,64 | 0,76 | 0,54 | 0,58 |
| Japán | 0,75 | 0,42 | 0,52 | 0,58 | 0,60 | 0,57 |
| Kanada | 0,60 | 0,37 | 0,62 | 0,56 | 0,70 | 0,55 |
| Kína | 0,56 | 0,47 | 0,46 | 0,21 | 0,63 | 0,46 |
| Mexikó | 0,45 | 0,34 | 0,32 | 0,19 | 0,58 | 0,37 |
| Norvégia | 0,67 | 0,47 | 0,73 | 0,64 | 0,77 | 0,64 |
| Oroszország | 0,46 | 0,37 | 0,48 | 0,28 | 0,61 | 0,43 |
| Svájc | 0,69 | 0,56 | 0,64 | 0,86 | 0,50 | 0,66 |
| Szerbia | 0,50 | 0,40 | 0,32 | 0,18 | 0,46 | 0,38 |
| Törökország | 0,43 | 0,23 | 0,37 | 0,24 | 0,45 | 0,34 |
| Új-Zéland | 0,62 | 0,46 | 0,49 | 0,49 | 0,67 | 0,54 |

Forrás: saját szerkesztés az Európai Bizottság (2021) adatbázisa alapján.

Irodalom

- Annoni, P. – Bruggemann, R. – Carlsen, L. (2017): Peculiarities in multidimensional regional poverty. In: Fattore, M. – Bruggemann, R. (eds.): *Partial order concepts in applied sciences*. Springer International Publishing. pp. 121–133. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45421-4_8
- Bachtrögler, J. – Badinger, H. – de Clairfontaine, A. F. – Reuter, W. H. (2016): Summarizing data using partially ordered set theory: An application to fiscal frameworks in 97 countries. *Statistical Journal of the IAOS*. Vol. 32. No. 3. pp. 383–402. <https://doi.org/10.3233/SJI-160973>
- Badinger, H. – Reuter, W. H. (2015): Measurement of fiscal rules: Introducing the application of partially ordered set (poset) theory. *Journal of Macroeconomics*. Vol. 43 pp. 108–123. <https://doi.org/10.1016/j.jmacro.2014.09.005>
- Bánhidi, Z. – Dobos, I. (2023a): Measurement of digital development with partial orders, Tiered DEA, and cluster analysis for the European Union. *International Review of Applied Sciences and Engineering*. megjelenés alatt, Vol. 14. No. 3. <https://doi.org/10.1556/1848.2023.00612>

- Bánhidi Z. – Dobos I. (2023b): Országgrangsorolás a nemzetközi digitális gazdaság és társadalom index 2020-as adatai alapján, DEA-és TOPSIS-módszerrel. *Területi Statisztika*. 63. évf. 4. sz. 515–532. o. <https://doi.org/10.15196/TS630405>
- Bánhidi, Z. – Dobos, I. – Nemeslaki, A. (2020): What the overall Digital Economy and Society Index reveals: A statistical analysis of the DESI EU28 dimensions. *Regional Statistics*. Vol. 10. No. 2. pp. 42–62. <https://doi.org/10.15196/RS100209>
- Bánhidi, Z. – Dobos, I. – Tokmergenova, M. (2021): Russia's Place Vis-à-Vis the EU28 Countries in Digital Development: A Ranking Using DEA-Type Composite Indicators and the TOPSIS Method. In: Herberger, T. A. – Dötsch, J. J. (eds.): *Digitalization, Digital Transformation and Sustainability in the Global Economy*. pp. 135–146. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77340-3_11
- Barr, R. S., Durchholz, M. L., Seiford, L. (2000): Peeling the DEA onion: Layering and rank-ordering DMUs using tiered DEA. *Southern Methodist University Technical Report*. Vol. 5. No. 1–24.
- Beycan, T. – Suter, C. (2017): Application of partial order theory to multidimensional poverty analysis in Switzerland. In: Fattore, M. – Bruggemann, R. (eds.): *Partial order concepts in applied sciences*. Springer International Publishing. pp. 135–150. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45421-4_9
- Bougnol, M. L. – Dulá, J. H. (2006): Validating DEA as a ranking tool: An application of DEA to assess performance in higher education. *Annals of Operations Research*. Vol. 145. No. 1. pp. 339–365. <https://doi.org/10.1007/s10479-006-0039-2>
- Cheon, S. (2009): Impact of global terminal operators on port efficiency: a tiered data envelopment analysis approach. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, Vol. 12. No. 2. pp. 85–101. <https://doi.org/10.1080/13675560902749324>
- Den, M. – Nah, H. S. – Shin, C. H. (2016): An Empirical Study on the Efficiency of Container Terminals in Russian and Korean Ports using DEA models. *Journal of Navigation and Port Research*. Vol. 40. No. 5. pp. 317–328. <http://dx.doi.org/10.5394/KINPR.2016.40.5.317>
- Dobos, I. (2023): Tiered Data Envelopment as a method for clustering suppliers. *Croatian Review of Operational Research*. (megjelenés alatt).
- Dobos I. – Vörösmarty G. (2022a): Módszerek a beszállítói csoportképzéshez. *SZIGMA Matematikai-közgazdasági folyóirat*. 53. évf. 2. sz. 183–197. <https://journals.lib.pte.hu/index.php/szigma/article/view/6030>
- Dobos, I. – Vörösmarty, G. (2022b): *Supplier Segmentation with Partial Orders, Tiered DEA and Cluster Analysis*. Working Paper, [S.l.]: SSRN. <http://dx.doi.org/doi:10.2139/ssrn.4059392>
- Ehrgott, M. (2005): *Multicriteria optimization*. Vol. 491. Springer Science & Business Media. https://kluedo.ub.rptu.de/frontdoor/deliver/index/docId/838/file/script_4.pdf
- Európai Bizottság (2021): *International Digital Economy and Society Index 2020. SMART 2019/0087. A study prepared for the European Commission DG Communications Networks*. Content & Technology by: Tech4i2. <https://ec.europa.eu/newsroom/dae/redirection/document/72352>
- Fattore, M. – Arcagni, A. (2021): Posetic Tools in the Social Sciences: A Tutorial Exposition. In: Bruggemann, R. – Carlsen, L. – Beycan, T. – Suter, C. – Maggino, F. (eds.): *Measuring and Understanding Complex Phenomena: Indicators and their Analysis in Different Scientific Fields*. Springer Nature. pp. 219–241. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59683-5_15
- Fattore, M. – Maggino, F. (2014): Partial orders in socio-economics: A practical challenge for poset theorists or a cultural challenge for social scientists? In: Bruggemann, R. – Carlsen, L. – Wittmann, J. (eds.): *Multi-indicator systems and modelling in partial order*. Springer Science & Business Media. pp. 197–214. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8223-9_9

- Johnes, J. (2018): University rankings: What do they really show? *Scientometrics*. Vol. 115. No. 1. pp. 585–606. <https://doi.org/10.1007/s11192-018-2666-1>
- Kovács, T. Z. – Bittner, B. – Huzsvai, L. – Nábrádi, A. (2022): Convergence and the Matthew Effect in the European Union Based on the DESI Index. *Mathematics*. Vol. 10. No. 4. p. 613. <https://doi.org/10.3390/math10040613>
- Laitsou, E. – Kargas, A. – Varoutas, D. (2020): Digital Competitiveness in the European Union Era: The Greek Case. *Economies*. Vol. 8. No. 4. p. 85. <https://doi.org/10.3390/economies8040085>
- Manganaro, A. – Ballabio, D. – Consonni, V. – Mauri, A. – Pavan, M. – Todeschini, R. (2008): The DART (decision analysis by ranking techniques) software. *Data Handling in Science and Technology*. Vol. 27. pp. 193–207. [https://doi.org/10.1016/S0922-3487\(08\)10009-0](https://doi.org/10.1016/S0922-3487(08)10009-0)
- Olczyk, M. – Kuc-Czarnecka, M. (2022): Digital transformation and economic growth-DESI improvement and implementation. *Technological and Economic Development of Economy*. Vol. 28. pp. 775–803. <https://doi.org/10.3846/tede.2022.16766>
- Radziszewski, B. – Szadkowski, A. (2015): *Ranking with Data Envelopment Analysis vs. Partial Order, 2014*. Open Access Library PrePrints, 1, e078. https://www.researchgate.net/profile/Boguslaw-Radziszewski/publication/270575766_Ranking_with_Data_Envelopment_Analysis_vs_Partial_Order/links/54b111540cf28ebe92dff3a8/Ranking-with-Data-Envelopment-Analysis-vs-Partial-Order.pdf
- Scitovski, R. – Sabo, K. – Martínez-Álvarez, F. – Ungar, Š. (2021): *Cluster analysis and Applications*. Cham: Springer.
- Tarjáni A. J. – Kalló N. – Dobos I. (2022): A nemzetközi digitális gazdaság és társadalom index 2020. évi adatainak statisztikai elemzése. *Statisztikai Szemle*. 100. évf. 3. sz. 266–284. o. <https://doi.org/10.20311/stat2022.3.hu0266>
- Tokmergenova, M. – Bánhidi, Z. – Dobos, I. (2021): Analysis of I-DESI dimensions of the digital economy development of the Russian Federation and EU-28 using multivariate statistics. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*. Vol. 37. No. 2. pp. 189–204. <https://doi.org/10.21638/spbu05.2021.201>